

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

NEDO SELAK

TROPSKI CIKLONI I URAGANI

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: POMORSKE TEHNOLOGIJE JAHTA I MARINA

TROPSKI CIKLONI I URAGANI

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:
doc. dr. sc. Nenad Leder

STUDENT:
Nedo Selak
(MB: 0171270045)

SPLIT, 2019.

SAŽETAK

Tropski cikloni ili uragani su intenzivni poremećaji u atmosferi s izraženim spiralnim strujanjem zraka. Najintenzivnije prirodne su nepogode na Zemlji. Cilj ovog rada je prikazati sve elemente koji su vezani za tropske ciklone i uragane, za njihov nastanak, kretanje, fizikalnu strukturu, klasifikaciju i terminologiju te procijeniti mogućnosti njihove prognoze i upozorenja stanovništva, a naročito pomoraca. Tropski cikloni su klasificirani u tri glavne skupine temeljene na intezitetu. Uragani Bloh, Dean i Katrina spadaju među najrazvijenije uragane koji su nanijeli velike štete. Intenzivni tropski cikloni predstavljaju velik izazov za promatranje. Precizna predviđanja putanja tropskih ciklona ovise o određivanju položaja i inteziteta visokih i niskih područja tlaka tijekom života ciklusa tropskog sustava. Pojedini svjetski centri nadležni su za upozorenje pomoraca o pojavi tropskih ciklona. Dostupnost i kvaliteta ovih upozorenja od velikog je utjecaja na sigurnost plovidbe.

Ključne riječi: *uragan, tropski ciklon, prognoza vremena, opasna plovidba*

ABSTRACT

Tropical cyclones or hurricanes are intense disturbances in the atmosphere with expressed spiraling air flow. They are the most intense natural disasters on Earth. The aim of this work is to show all elements related to tropical cyclones and hurricanes for their origin, movement, physical structure, classification and terminology, and to evaluate the possibilities of their forecasts and alerts to the population, especially seafarers. Tropical cyclones are classified into three main groups based on intensity. Hurricane Bloh, Dean, and Katrina are among the most developed hurricanes that have caused great damage. Intensive tropical cyclones represent a major challenge for observation. Precise predictions of the tropical cyclone path depend on determining the position and intensity of high and low pressure areas throughout the tropical cycle. Some world centers are responsible for seafarers' warning of the occurrence of tropical cyclones. The availability and quality of these warnings has a major impact on the safety of navigation.

Keywords: *hurricane, tropical cyclone, weather forecast, dangerous navigation*

SADRŽAJ

1. UVOD	4
2. FIZIKALNA STRUKTURA TROPSKIH CIKLONA I URAGANA.....	6
3. PODRUČJA NASTANKA, GIBANJE I RASPRŠENJE.....	9
3.1. Razvoj uragana	10
3.2. Putanja uragana i popratne oceanske pojave.....	14
4. KLASIFIKACIJA I TERMINOLOGIJA	17
4.1. Urgan Bloha	19
4.2. Urgan Dean	20
4.3. Urgan Katrina	21
5. OSMATRANJE I PROGNOZA	23
5.1. Osmatranje tropskih ciklona s broda.....	23
5.2. Osmatranje tropskih ciklona iz satelita.....	25
5.3. Prognoziranje tropskih ciklona numeričkim modelima.....	26
6. ZAKLJUČAK.....	28
7. LITERATURA	29
8. POPIS SLIKA	31
9. POPIS TABLICA	32
10. POPIS KRATICA.....	33

1. UVOD

Ne ulazeći u političko-gospodarsku podlogu negiranja o utjecaju čovjeka, odnosno globalnom zatopljenju, na nastanak sve snažnijih meteoroloških ekstrema, znanstveni podaci govore upravo suprotno. Kako globalno raste prosječna temperatura zraka, rastu dva izuzetno važna parametra za razvoj uragana: temperatura morske podloge i jačina vjetra.

Uragani su rotirajući sustavi; oluje koje nastaju iznad tropskog područja. Karakteriziraju ih jaki vjetrovi od minimalno 119 km/h za uragan prve kategorije ili čak 292 do preko 350 km/h što karakterizira najrazornije uragane najviše pete kategorije prema Saffir-Simpsonovoj ljestvici [13].

Ciklon je riječ grčkog podrijetla i karakterizira vrlo snažno vrtložno gibanje zraka u atmosferi oko središta izražajno niskog tlaka. Istovjetna pojava u različitim dijelovima tropskog svijeta ima različita imena, pa se u Sjevernoj i Srednjoj Americi naziva uragan (eng. Hurricane), u južnom dijelu Tihog oceana tajfun (eng. Typhoon), u Indijskom oceanu ciklon (eng. Cyclone), te u Australiji Willy-willy. Nastane li na sjevernoj Zemljinoj polutci, zrak se oko središta uragana okreće obrnuto od smjera kazaljke sata, dok se na južnoj okreće u smjeru kazaljke na satu [13].

Pojave u prirodi koje sa sobom nose veliku snagu oduvijek su privlačile ljude. Uragan je veličanstven, ali i opasan - s vjetrom koji puše i do 80 m/s, zbog mnoštva faktora koji utječu na nastanak i razvoj uragana (npr. Coch 2006).

Nastanak uragana započinje tako da se razvija konvekcija iznad tople površine oceana. Za razvoj duboke konvekcije potreban je određeni okidač (fizikalni proces koji će je pokrenuti) i velika vlažnost zraka, a za održavanje i daljnji razvoj potreban je konstantni dotok energije, koju poremećaj crpi iz temperature oceana u obliku latentne topline [22].

Uragani svake godine uzrokuju milijunske štete i odnose mnoge živote. Dio štete nastaje zbog velike brzine vjetra, a dio zbog velike količine vode koja dolazi na kopno u obliku oborine ili olujnog uspora. Na materijalnu štetu se ne može mnogo utjecati, ali zato postoji mogućnost smanjenja broja žrtava evakuacijom.

Ciklonalna stanja mogu se javiti na kontaktu toplog i hladnog zraka i oni se nazivaju frontalnim depresijama ili ciklonima. Osim frontalnih, koji odlikuju umjerene i polarne oblasti, oni se mogu javiti i u tropskim oblastima na zemlji iznad oceanskih površina i nazivaju se tropskim ciklonama. Javljaju se u toplijem razdoblju godine,

posebno u monsunsko vrijeme na istočnoj i kraju ljeta na zapadnoj hemisferi. Veoma su razorne i izazivaju katastrofe s ljudskim žrtvama.

Razlika između tropskih ciklona i uragana je u snazi vjetra. Kako su se meteorolzi dogovorili, vjetrovi koji pušu 117 km/h su tropski cikloni, a vjetrovi iznad te snage nazivamo uraganima.

Cilj ovog rada je prikazati sve elemente koji su vezani za tropske ciklone i uragane, za njihov nastanak, kretanje, fizikalnu strukturu, klasifikaciju i terminologiju te procijeniti mogućnosti njihove prognoze i upozorenja stanovništva, a naročito pomoraca.

2. FIZIKALNA STRUKTURA TROPSKIH CIKLONA I URAGANA

S obzirom na količinu energije koju posjeduju, područje koje zahvaćaju te gubitak života i materijalne štete koje uzrokuju, cikloni su naj snažniji atmosferski sustavi. Veće brzine vjetra javljaju se još u tornadima, ali su po ukupnoj jačini mnogo slabiji. Najveće gubitke života i imovine izazivaju olujni valovi i bujice, a ne olujni vjetar, kako bi se u prvi tren moglo pomisliti [8].

Naziv “ciklon” (muški rod) označava vremensku nepogodu s niskim tlakom zraka u središtu vrtloga u tropskom području, za razliku od naziva “ciklona” (ženski rod) koji također označava vremensku nepogodu s niskim tlakom u središtu vrtloga, ali u umjerenim zemljopisnim širinama [8].

Ova naoko mala razlika je velika razlika u vremenskim procesima. Ponekad se umjesto riječi “ciklon”, može upotrijebiti izraz “tropski ciklon”. Nadalje, uvažavajući područja postojana ciklona oni imaju i nazive hariken (mora juga Sjeverne do ruba Južne Amerike) i tajfun (mora istoka Azije) [8].

Uragan je sustav rotirajućeg vjetra koji se razvija iznad tropskih oceanskih površina. Prepoznatljiv je po mirnom središtu, odnosno oku uragana, koje je okruženo zidom oblaka.

Uragan donosi jake oborine i jak vjetar, a ponekad i tornada [1]. Kako se uragan približava obali, odnosno plićem moru, primjetan je i olujni uspor uzrokovan niskim tlakom i vjetrom.

Uragani su u prošlosti bili rijetka pojava, a posljednjih godina se njihova učestalost povećala zbog klimatskih promjena. Da bi se neki meteorološki poremećaj razvio u uragan, moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti [22]:

- geografska širina mora biti između 80 i 200 stupnjeva (na sjevernoj i južnoj hemisferi),
- velika relativna vlažnost zraka srednje atmosfere (700 hPa),
- malo smicanje vjetra,
- topla površina oceana, površinska temperatura $\geq 26.50^{\circ}\text{C}$ do dubine od 60 m,
- uvjetna nestabilnost i

- pojačana vrtložnost u donjoj troposferi.

Rotacijski sustav kojeg nazivamo uragan ili tropska ciklona ima toplo središte. U središtu se nalazi minimalni tlak i dobro definirana cirkulacija pri površini. Svaka tropska ciklona [11], ima sličnu strukturu koja se sastoji od:

- ulaznog toka u graničnom sloju,
- zida oka,
- cirusnog štita,
- oborinskih pruga,
- izlaznog toka u gornjoj atmosferi i
- oka uragana kada ciklona ojača.

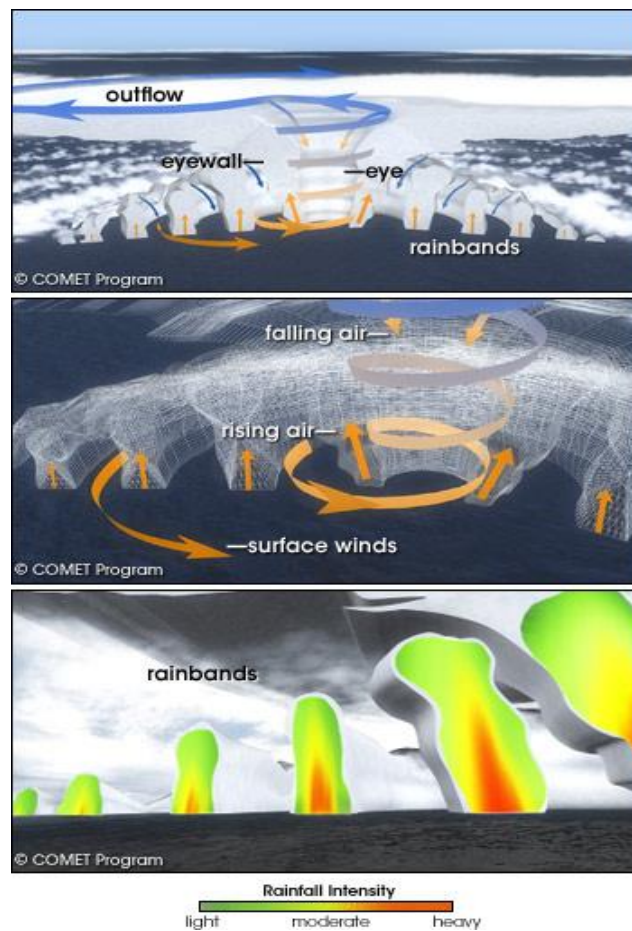
Površina tropskog ciklona karakterizira zrak koji se brzo okreće oko središta cirkulacije, a također teče radialno prema unutra. Na vanjskom rubu oluje, zrak može biti gotovo smiren. Zrak teče radialno prema unutra, te se počinje rotirati suprotno od smjera kazaljke na satu na sjevernoj hemisferi, a u smjeru kazaljke na satu na južnoj hemisferi. Rotira se tako iz razloga da se očuva kutni zamah. U unutarnjem radijusu, zrak se počinje penjati na vrh troposphere [24].

U centru zrelog tropskog ciklona, zrak propada, a ne diže se. Za dovoljno jaku oluju, zrak može potonuti preko sloja dovoljno duboko da potisne formiranje oblaka, čime se stvara jasno oko ciklona. Vrijeme u oku je obično mirno i bez oblaka, iako more u tom području može biti izuzetno opasno. Oko je obično kružno formirano i obično je 30 – 65 km u promjeru. Opažene su veličine oka promjera od 3 do 370 km [24].

Centar uragana, odnosno njegovo oko, najmirnije je područje uragana (slika 1). Prisutan je lagani vjetar i tu nema naoblake ni oborine jer se zrak na tom mjestu spušta. Oko je okruženo zidom kumulonimbusa. Vjetar na tom području doseže najviše brzine i oborina je najobilnija. Što je uragan razorniji, to će oko biti bolje formirano.

Oblačni vanjski rub oka zove se zid oka. On se obično širi prema van s visine, nalik na nogometni stadion. Taj se fenomen ponekad naziva i "efekt stadiona". Zid je mjesto gdje se nalaze najveće brzine vjetra, zrak se brzo uzdiže, oblaci dosegnu najvišu moguću visinu i udari su najjači. Najjači udari vjetra se događaju kad zid oka tropskog ciklona prolazi preko kopna.

Tropski cikloni su područja relativno niskog tlaka u troposferi, s najvećim tlakom koji se javljaju na niskim visinama blizu površine. Na zemlji, pritisci zabilježeni u centrima tropskih ciklona su među najnižim ikada promatrani na razini mora. Okoliš u blizini centra tropskih ciklona je topliji od okoline na istoj visini, tako da se karakterizira kao sustavi toplih jezgri.



Slika 1. Unutarnja struktura uragana [14]

3. PODRUČJA NASTANKA, GIBANJE I RASPRŠENJE

U oceanima postoje stacionarne struje kao što su Labradoriska i Gofiska struja u Atlantskom oceanu, no postoje procesi koji utječu na te struje i mijenjaju ih. Promjene u stacionarnim strujama mogu nastati zbog promjena u atmosferi (npr. oscilacije u polju tlaka zraka ili polju vjeha) ili zbog promjena u samom oceanu (npr. promjena gustoće i saliniteta zbog otapanja polarnog leda). El Niño Južna oscilacija (ENSO) je takav proces [10]. Ona započinje varijacijom tlaka nad Indonezijskim otočjem i istočnim Pacifikom. Ta varijacija utječe na Humboldtovu struju i druge struje u Pacifiku, a time i na površinsku temperaturu oceana, odnosno količinu dostupne energije za razvoj uragana.

Za razvoj tropske ciklone svi navedeni uvjeti u poglavlju 2. moraju biti istodobno zadovoljeni, ali i to nije garancija da će se uragan razviti. Znanstvenici su definirali indeks “parametar nastanka” kojim se može izračunati vjerojatnost nastanka uragana u tropskom području Atlantika [4].

Za područje Pacifika takav indeks nije dostupan. Za daljnji razvoj potreban je topao ocean kao izvor latentne topline, a smicanje vjeha ne smije biti prejako kako bi se latentna toplina zadržala u konvektivnom sustavu. Ako će dotok topline biti veći od gubitka energije (npr. trenjem), uragan će se nastaviti razvijati i jačati.

Sezona uragana na sjevernoj hemisferi u Atlantskom oceanu počinje sredinom svibnja i traje do sredine studenog s maksimumom krajem kolovoza i početkom rujna. U Pacifičkom oceanu sezona uragana na sjevernoj hemisferi započinje u svibnju i traje do sredine studenog s maksimumom u kolovozu. Ponekad se uragani u Pacifiku razvijaju i zimi (slika 2).

Prosječno se godišnje u svijetu pojavi oko 50 (žestokih) tropskih oluja i još toliko tropskih ciklona orkanske jačine. Broj tropskih ciklona je promjenjiv iz godine u godinu bez značajnijih pravilnosti. U odnosu na ranije podatke, uporaba meteoroloških satelita povećala je ukupan broj uočenih ciklona za 15 – 20%.

Najviše ciklona je u ljetnim mjesecima pojedine polutke, iznimna je sjeverna polutka - Indijski ocean, gdje se cikloni uglavnom javljaju prije i poslije ljetnog monsuna [8].

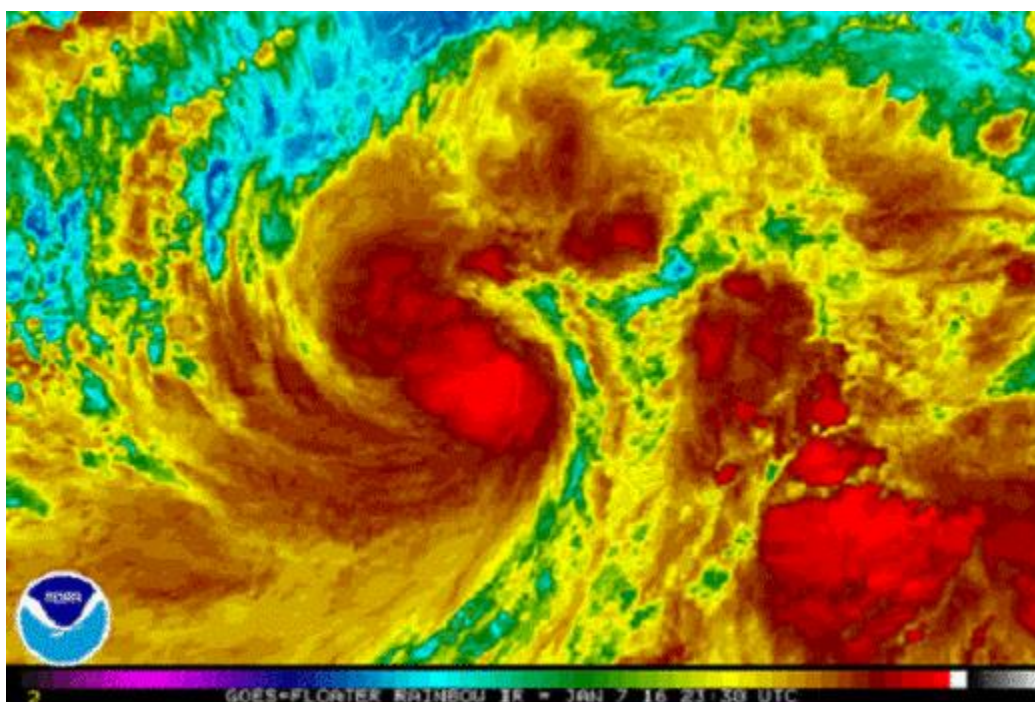
Većina razvijenih ciklona 58 (72%) nastaje na sjevernoj polutki. Područje s najučestalijim ciklonima od svih oceana je zapadni sjeverni Tihi ocean - istočnoazijsko more, 30 (38%), a slijede istočni sjeverni Tihi ocean, 14 (17%) i sjeverni Atlantik, 7 (11%), Bengalski zaljev ima 4 (5%), a Arapsko more 1 (1%) ciklon. Na južnoj polutki

brojnost ciklona je manja za 22 (28%). Manje ciklona na južnoj polutki objašnjava se sjevernijim položajem unutar tropskog pojasa konvergencije (Atlantik), zbog jakog uspravnog smicanja (Atlantik, Tihi ocean) i zbog nižih temperatura oceana [8].

3.1. Razvoj uragana

Ciklonegeza, tj. stvaranje ciklona, vrlo je složen i zasad nedovoljno poznat proces, iako su poznati mnogi činitelji koji joj doprinose. Za rast ciklonskih sustava nužni su uvjeti određeni stanjem mora i atmosfere. To su površinska temperatura oceana ($> 26 - 27 < ^\circ \text{C}$), vrlo rasprostranjene tople oceanske površine i termičke energije oceana do dubine 60 m. Zatim, vrlo su važni početni predciklonski poremećaj i pogodan okolni tok [8].

Tropski poremećaj, oblačne nakupine, čini uređena naoblaka koja putuje prema zapadu i pokrivena je debelim slojem cirusa. Vodoravna veličina im je približno 500 – 800 km, a životni vijek između 1 i 3 dana. Dobro su uočljivi na satelitskim snimkama, pomoću kojih se prati njihovo gibanje i razvoj. Tropskih poremećaja u unutartropskom pojasu konvergencije, u području pasata, u istočnim valovima, ili u vezi s hladnom frontom iz srednjih zemljopisnih širina godišnje ima nekoliko desetaka tisuća [8].



Slika 2. Satelitska snimka tropskog sustava zimi (7.1.2016.) koji postaje tropska oluja Pali na Pacifiku, [21]

Između tropskih poremećaja koji će se razviti u veći tropski sustav (depresija, oluja, ciklon), tj. predciklonskih poremećaja, i onih koji se neće dalje razvijati, postoje sličnosti i razlike. Obje vrste poremećaja imaju toplu jezgru u gornjoj troposferi (250-300 hPa), koja je izraženija kod predciklonskih poremećaja, što znači veće temperaturne gradijente na visini, koji uzrokuju veće gradijente tlaka u nižim atmosferskim slojevima. Obje vrste poremećaja su jako slične po uspravnoj stabilnosti po sadržaju i odstupanju vlage. Najveće razlike su u polju strujanja, gdje je tangentna komponenta vjetra značajno veća kod predciklonskih poremećaja [8].

Da bi se na nekom području počeo razvijati sustav koji ima potencijal narasti u uragan, potreban je okidač. Taj će okidač pokrenuti konvergenciju, a zatim i konvekciju toplog i vlažnog zraka.

Postoje tri uzročnika konvergencije koji pogoduju razvoju uragana [22]:

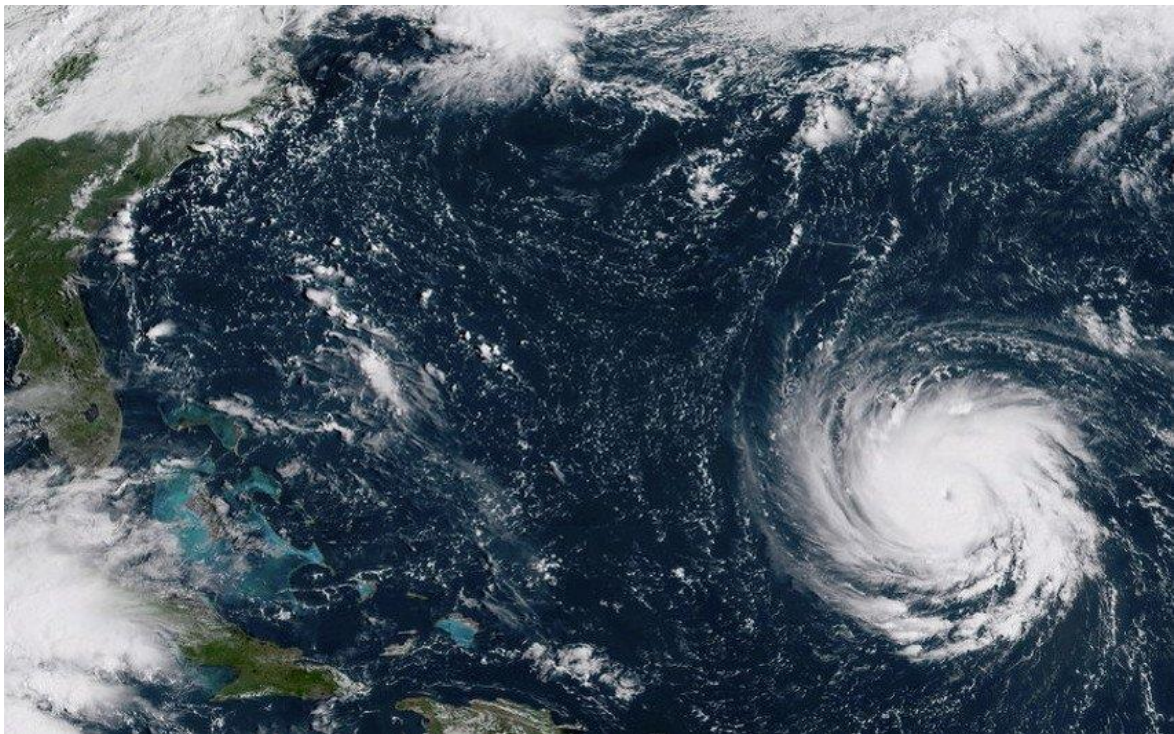
- sudaranje pasata južne i sjeverne Zemljine polutke na području oko ekvatora koje obiluje grmljavinskim olujama. To područje naziva se intertropska zona konvergencije (eng. InterTropical Convergence Zone-ITCZ). Ponekad takva oluja uspije doći iznad 8°S/J i ima potencijal razviti se u uragan;
- konvergencija zraka duž tople i hladne zračne struje - težak, hladan zrak može pomoći podizanju toplog, vlažnog zraka duž fronte. Ponekad takav sustav dođe do Meksičkog zaljeva ili istočne obale Sjedinjenih Američkih Država (npr. Fogarty i sur. 2007.) te se razvije u uragan;
- afrički istočni valovi su atmosferski valovi koji putuju preko Atlantskog oceana. Oni su uzročnici oko 60% tropskih oluja i slabijih uragana. Međutim, ako se promatraju samo uragani viših kategorija, tada se čak 85% njih može povezati s afričkim istočnim valovima.

Afrički istočni valovi nastaju zbog nestabilnosti u Afričkoj istočnoj mlaznoj struji. Afrička istočna mlazna struja nastaje zbog velikoga gradijenta temperature između vruće Sahare i mnogo hladnijeg Gvinejskog zaljeva.

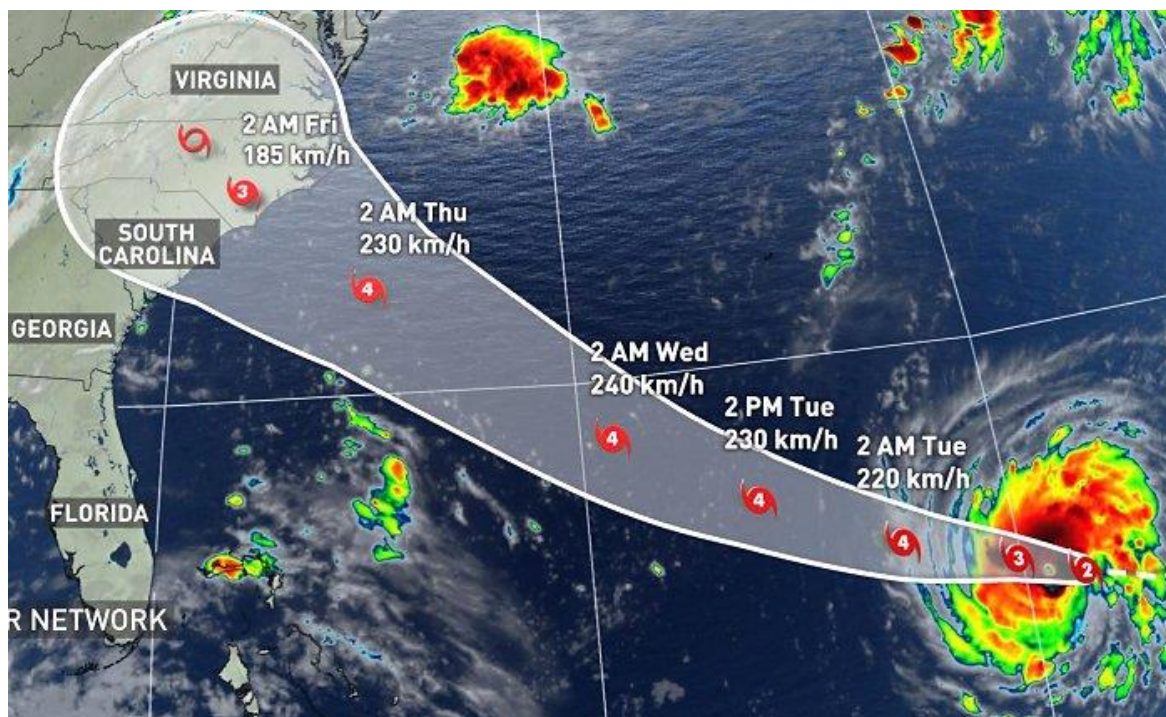
Velika vlažnost atmosfere, topla površina oceana i uvjetna nestabilnost nužni su za razvoj duboke konvekcije. Dubokom konvekcijom poremećaj dobiva potrebnu energiju za daljnji rast. Kruženje topline unutar uragana može se opisati pomoću klasičnoga Carnotovog energetskoga ciklusa [5].

Zbog toga se uragan može teorijski promatrati kao zatvoreni sustav (slika 2), s konstantnom kružnom brzinom vjetra. Carnotov energetski ciklus u uraganu započinje strujanjem zraka uz površinu oceana prema centru ciklone. Iako se tlak zraka smanjuje prema centru i zrak se širi, nema pada temperature. Temperatura zraka je približno konstantna zato što zrak ima ogroman dotok topline s površine oceana.

Meteorološke i oceanološke službe zemalja koje su ugrožene djelovanjem uragana koriste satelitske snimke za detekciju položaja uragana (slika 3) te izrađuju prognoze putanja pojedinih uragana (slika 4).



Slika 3. Satelitska snimka uragana Florence iz svemira 10. 9. 2018. godine [25]



Slika 4. Prognoza putanje uragana Florence na dan 10.9.2018. godine [26]

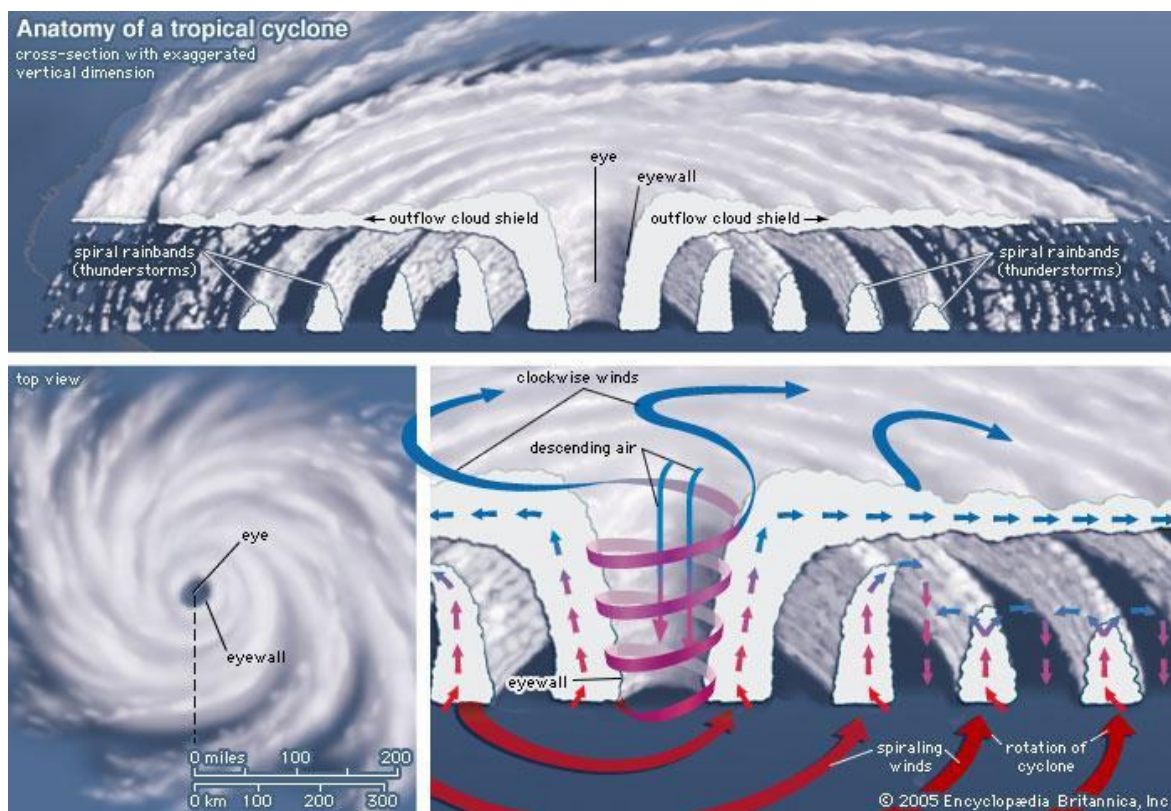
Brzina vjetra je najveća neposredno prije centra, u zidu oka uragana. Stoga će i preuzimanje vodene pare s površine oceana tamo biti najveće. Vjetar dodatno pridonosi povećanju temperature turbulentnim trenjem. Kako zrak struji prema centru poremećaja, zrak se zagrijava i zbog trenja. Što je brzina vjetra veća, a površina hrapavija, to će i temperatura zraka biti veća.

Kada dostigne zid oka, zrak se počinje dizati. Dizanjem se zrak hladi. Kada se temperatura zraka, koji se diže, izjednači s temperaturom rosišta, počinje kondenzacija vodene pare i oslobađanje latentne topline. U stvarnosti zrak izlazi na vrhu zida uragana vrlo velikom brzinom i daleko od centra uragana, no zbog lakšeg shvaćanja pretpostavlja se da se zrak natrag spušta prema površini daleko od centra (slika 5).

Kretanje oluje zbog prevladavajućih vjetrova i drugih širih okolišnih uvjeta u blizini tropskog ciklona može se tretirati kao da ima dva dijela: protok povezan sa samom olujom i veliki pozadinski protok u kojem se odvija oluja. Na taj se način pokret tropskog ciklona može tumačiti jednostavno kao dodatak oluji sa strane lokalnog protoka okoliša.

Izvori podataka (prizemna u visinskim motrenjima) su vrlo rijetki nad toplim oceanima, a osim toga olujni i orkanski vjetrovi smanjuju pouzdanost pri njihovom mjerenju. Kad ciklon dolazi na kopno, gdje je gušća mreža meteoroloških postaja i opservatorija,

obično se nalazi u stadiju raspadanja, a ne u tipičnom zrelom stadiju. Pomoć ranom otkrivanju i praćenju daju meteorološki radari i sateliti [8].

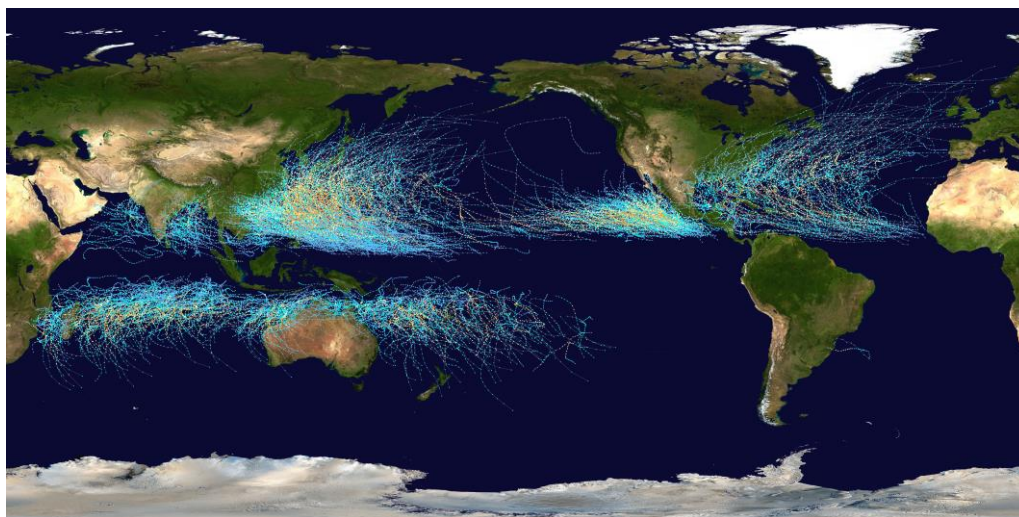


Slika 5. Anatomija tropskog ciklona (Encyclopedia Britanica, Inc., 2005)

3.2. Putanja uragana i popratne oceanske pojave

Tropski cikloni i uragani imaju svoja izvorišna područja i karakteristične putanje. Na slici 6 prikazana je mapa kakarakteristika putanja svih tropskih ciklona koji su se pojavili u vremenskom razdoblju od 1985. - 2005. godina.

Tihi ocean ima više tropskih ciklona nego bilo koji drugi bazen, dok u južnoj hemisferi između Afrike i 160°W gotovo da i nema aktivnosti. Diljem svijeta aktivnost tropskih ciklona doseže vrhunac u kasno ljeto, kada je razlika između temperatura iznad i temperature mora najveća. Svaki pojedini bazen ima svoje sezonske obrasce. Na svjetskoj razini svibanj je najmanje aktivan mjesec, dok je rujan najaktivniji mjesec. Studeni je jedini mjesec u kojem su aktivni svi bazeni tropskih ciklona [29].



Slika 6. Karta kumulativnih tragova svih tropskih ciklona tijekom razdoblja od 1985. do 2005. godine [29].

Pod utjecajem tropskih ciklona na oceanima i morima javljaju se razne oceanološke pojave koje su bitne za plovidbu. U ovom slučaju bitne su pojave i procesi koji su nastali međudjelovanjem atmosfere i hidrosfere tj., oceana i mora kao što su:

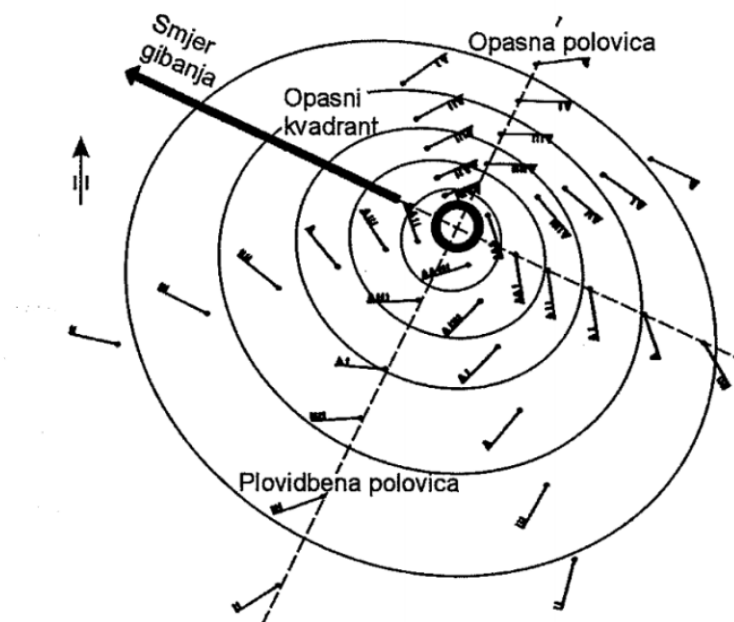
- opasni vjetrovni valovi i olujni uspor (eng. storm surge),
- izuzetno jake oborine,
- vjetrovne struje,
- seši i dr.

Tako nastaju različiti oblici gibanja morske vode (vodoravna, uspravna, valna gibanja) prouzročena raznim uzrocima.

U ovom slučaju, od više vrsta morskih valova, najvažniji su površinski vjetrovni valovi, koje uzrokuje jak vjetar na morskoj površini potpomognut smanjenjem atmosferskog tlaka. Zovu se i valovi živog mora. Ovi valovi imaju razmjerno male periode i valne duljine, bitno manje od dubine mora (dubina > 200 m). Te valove odlikuje takozvani „rasap“. Valovi većih valnih duljina imaju veći period i veću brzinu premještanja. Na sjevernoj polutki u ciklonu su najveće brzine vjetra na njegovoj desnoj polovici, obično u desnom stražnjem kvadrantu (slika 7.), što upućuje da su i najveći valovi na desnoj polovici, koja se naziva opasna polovica.

Lijeva polovica, kao manje opasna, naziva se plovidbena polovica. Za razvitak i gibanje vjetrovnih valova te mrtvog mora posebno je određeno vrijeme, dok istodobno

ciklon napreduje. Zato su najveći valovi u prednjem desnom kvadrantu ciklona jer putuju u smjeru napredovanja ciklona i imaju veću brzinu napredovanja u odnosu na ciklon. Valovi mogu imati visinu i do 20 m, zato je to opasni kvadrant [8].



Slika 7. Prizemno polje vjetra u odnosu na smjer gibanja ciklona [8]

4. KLASIFIKACIJA I TERMINOLOGIJA

Tropski cikloni su klasificirani u tri glavne skupine, temeljene na intenzitetu: tropske depresije, tropske oluje i treća skupina intenzivnijih oluja, čije ime ovisi o regiji.

Na primjer, ako tropska oluja u sjeverozapadnom Pacifiku dosegne vjetrove jačine uragana na Beaufortovoj ljestvici, to se naziva tajfunom; ako tropska oluja prođe istu mjeru u sjeveroistočnom dijelu Pacifika ili u sjevernom Atlantiku, to se naziva uragan. Nazivi "uragan" i "tajfun" ne koriste se ni u južnoj hemisferi ni u Indijskom oceanu. U tim bazenima, oluje tropske prirode nazivaju se ili tropskim ciklonima, teškim tropskim ciklonima ili vrlo intenzivnim tropskim ciklonima [24].

Nazivi ciklona su različiti u različitim dijelovima svijeta [8]:

- Hurricane - sjeverni Atlantik, Karipsko more, Meksički zaljev, istočni i središnji Tihi ocean,
- Typhoon - zapadni Tihi ocean, Žuto more, istočno i južno Kinesko more,
- Cordonazo – Meksiko,
- Taino – Haiti,
- Cyclone – Indijski ocean,
- Orkane - Madagaskar, Mauricijus,
- Baugio, baurio – Filipini i
- Willy- willy – Australija.

Svaki bazen koristi poseban sustav terminologije, koji može otežati usporedbe između različitih bazena. U Tihom oceanu, uragani iz središnjeg sjevernog Pacifika ponekad prelaze 180. meridijan u sjeverozapadni Pacifik, postajući tajfuni (kao što je uragan / Typhoon Ioke 2006.); u rijetkim slučajevima će se dogoditi obrnuto. Također treba napomenuti da se tajfuni s 1-minutnim neprekidnim vjetrovima većim od 69 m/s (250 km/h), nazivaju super tajfuni.

Kategorizacija uragana prikazana je u tablici 1.

Tablica 1. Kategorizacija uragana po Saffir-Simpsonu [22]

Kategorija	Srednja brzina vjetra / (m/s)	Minimalni tlak u centru / hPa
Tropska depresija	< 17,5	
Tropska oluja	18 – 32,5	
Uragan 1. kategorije	33 – 42,5	> 980
Uragan 2. kategorije	43 - 49	978 - 965
Uragan 3. kategorije	49,5 - 58	964 - 945
Uragan 4. kategorije	58,5 - 69	944 - 920
Uragan 5. kategorije	> 69	< 920

Svaki ciklon ima svoje ime. To je bilo ime sveca na dan kad je ciklon opažen, a danas imaju muška ili ženska imena, određuju se unaprijed i različita su u različitim oceanima. Jakost ciklona može se odrediti pomoću središnjeg tlaka na morskoj razini ili preko najveće brzine vjetra, što je najčešća podjela [8].

Razlikuju se doba ciklona:

- tropski poremećaj,
- tropska depresija,
- tropska oluja,
- žestoka tropska oluja i
- uragan.

Vjetrovi brzina većih od 32 m/s su orkanski vjetrovi i taj naziv nije vezan samo za ciklon, već se često rabi i kod drugih atmosferskih pojava kao što su tornado, pijavica i dr.

Zbog klimatskih promjena uragani se intenzivno proučavaju. Razvijeni su mnogi numerički modeli koji se bave evolucijom klime i njezinog utjecaja na ponašanje uragana. Promjena klime utjecat će na frekvenciju, intenzitet i putanju uragana.

Osim razvijanja novih klimatskih modela, znanstvenici se okreću i prema dalekoj prošlosti. Koristeći razvoj paleontologije znanstvenici su trenutno u stanju doći do podataka koji prije nisu bili dostupni. Uspoređivanjem ponašanja uragana u današnjim

klimatskim uvjetima i klimatskim uvjetima prisutnima prije desetaka tisuća godina, može se doći do novih saznanja i odgovora. Istraživanja su pokazala da ne postoji znatna korelacija između broja uragana i povećanja globalne temperature, ali zato postoji korelacija između povećanja temperature i intenziteta uragana. Zbog toga se u budućnosti može očekivati da se broj uragana neće znatno promijeniti, ali će oni koji se razvijaju, biti dugotrajniji i snažniji [5].

Gotovo sve tropske i suptropske ciklone, čak i ako nisu dovoljno razvijene da bi im se službeno dodijelila imena, moraju biti praćeni od strane centara za upozorenje koji su nadležni za praćenje. Na primjer, sustavi (tropski, suptropski ili čak potencijalni tropski) koji se formiraju u Sjevernoatlantskom i Sjeverno-pacifičkom bazenu (službeni), kao i oni koji potječu iz drugih područja (na neslužbenoj osnovi) koji služe interesima vlade Sjedinjenih Država (civilni i vojni), dodijeljeni su brojevi tropskih ciklona od strane Nacionalnog centra za uragan, Središnjeg pacifičkog centra za uragan i Centra za upozorenje o zajedničkom tajfunu [24].

Broj je dvoznamenkasti (koji počinje svake godine / sezone s "01" i ide prema gore) nakon čega slijedi (osim za sjeverni Atlantski bazen) sufiks koji odgovara podrijetlu bazena (kao što je "E" za istočni Pacifik, "C" za Središnji Pacifik i "W" za zapadni Pacifik). Broj je često napisan na engleskom jeziku (poput "ONE", ponekad priložen crticom i sufiks bazena kao u "ONE-E") [24].

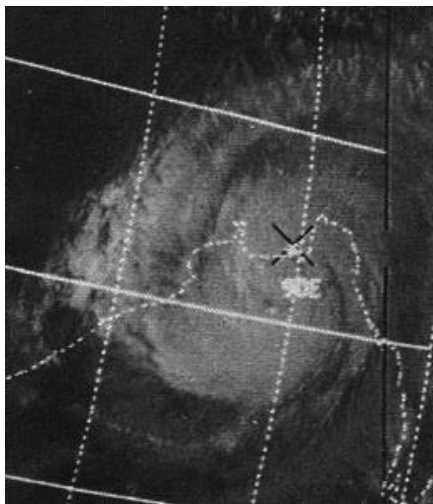
Praksa korištenja imena za identifikaciju tropskih ciklona traje dugi niz godina, a sustavi su nazvani po mjestima ili stvarima koje su pogodili prije formalnog početka imenovanja. Sustav koji se trenutno koristi osigurava pozitivnu identifikaciju sustava za teške vremenske uvjete u kratkom obliku, koji je lako razumljiv i lako se prepoznaje od strane javnosti.

U nastavku će se prikazati uragani Bloha, Dean i Katrina, koji spadaju među najrazvijenije uragane koji su nanijeli goleme udare.

4.1. Uragan Bloha

Ciklon Bhola iz 1970. bio je razorni tropski ciklon koji je pogodio istočni Pakistan i indijski zapadni Bengal 12. studenoga 1970. godine. On ostaje najsmrtonosniji tropski ciklon ikad zabilježen i jedna od najsmrtonosnijih prirodnih katastrofa. Oko 500.000 ljudi izgubilo je živote u oluji, ponajprije kao posljedica olujnog udara koji je preplavio veći dio

niskih otoka delte Ganges. Ovaj ciklon bio je šesta ciklonska oluja sezone ciklona u sjevernom Indijskom oceanu 1970. godine, a također to je bila i najjača sezona [25].

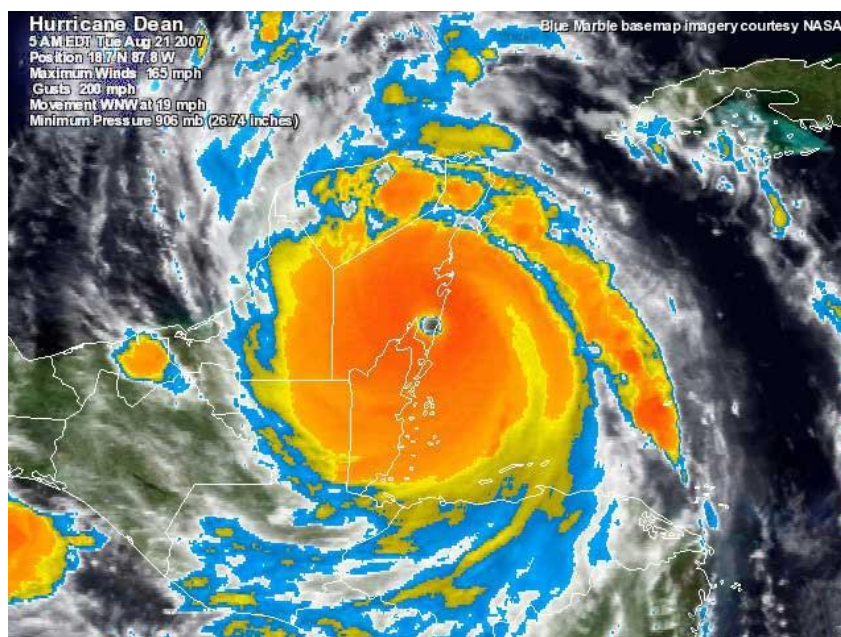


Slika 8. Satelitska snimka uragana Bloha [25]

Ciklon se formirao iznad središnjeg Bengalskog zaljeva 8. studenog i putovao na sjever, postajući sve intenzivniji. Vrhunac je dosegnuo s vjetrovima od 185 km/h 11. studenoga, a sljedeće se poslijepodne spustio na obalu istočnog Pakistana (sada u Bangladešu). Uragan je uništio mnoge otoke, sela i usjeve u cijeloj regiji. U najteže pogođenoj Upazili, Tazumudin, više od 45% od 167.000 stanovnika je smrtno stradalo od oluje [25].

4.2. Uragan Dean

Uragan Dean bila je najjača tropska oluja atlantske sezone uragana 2007. godine. To je ujedno i najjači atlantski uragan od uragana po imenu Wilma 2005. godine. Dean se preselio na zapad-sjeverozapad preko istočnoga Atlantskoga oceana kroz kanal Svete Lucije i na Karipsko more (slika 9). Postao je vrlo jak uragan, dosegnuvši 5. kategoriju prema Saffir - Simpsonovoj skali uragana, prije nego što se gibao južno od Jamajke 20. kolovoza.



Slika 9. Satelitska snimka uragana Dean [16]

Oluja se preselila na kopno na poluotoku Yucatanu 21. kolovoza kao uragan 5. kategorije. Oluja je putovala preko poluotoka i ušla u zaljev Campeche, kao oslabljena oluja, ali još uvijek kao uragan. Ojačala je za kratko vrijeme prije nego što se dogodio odron zemlje u Veracruz, u Meksiku, 22. kolovoza. Dean se polako preselio na sjeverozapad, slabio je u području niskog tlaka preko jugozapadnoga SAD-a. Jaki vjetrovi, valovi, kiše i oluje uzrokovali su preko 45 smrtnih slučajeva diljem deset zemalja i izazvali procijenjene štete od 1,5 milijardi američkih dolara [16].

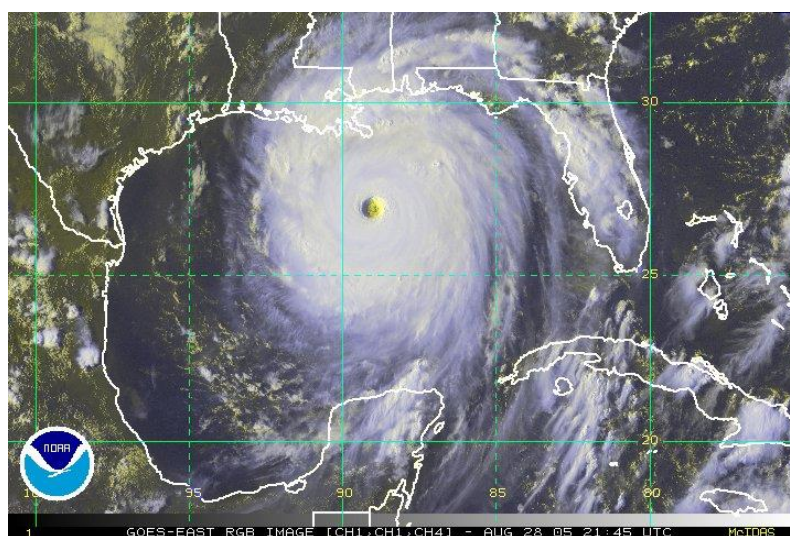
4.3. Uragan Katrina

Katrina je ime za uragan koji je krajem kolovoza 2005. godine pogodio južnu obalu Sjedinjenih Američkih Država. Nastao je 24. kolovoza 2005. kraj Bahama (slika 10), a prvi udar na kopno dogodio se kraj Miamija (Florida) kad je jačina uragana bila kategorije 1 prema Safir-Simpsonovoj skali za uragane. Tamo je uzrokovao veće poplave i 11 poginulih. Svoj put uragan je nastavio u Meksičkom zaljevu gdje je dobio na snazi. Dana 29. kolovoza Katrina nalijeće na američke države Louisianu i Mississippi s jačinom

kategorije 4 (vjetrovi brzine 250 km/h). Uzrokovane su velike štete na priobalnim područjima, a 80% grada New Orleansa potopljeno je.

Ukupno je poginulo više od 1.800 ljudi (službene brojke su 1.836 poginulih i 705 nestalih). Procijenjeno je da je to bila najskuplja prirodna katastrofa u SAD-u do tada. Četiri godine kasnije, tisuće stanovnika Mississippija i Louisiane još žive u skloništima i kamp-kućicama.

Katrina je također imala jak utjecaj na okoliš. Visoki olujni uspor (storm surge) uzrokovao je jaku eroziju obala, a u nekim slučajevima potpuno je razorilo obalna područja. US Geological Survey je procijenio da je 560 km² kopna pretvoreno u vodenu površinu zbog uragana Katrine i Rite. Ta izgubljena površina bila je mjesto parenja morskih sisavaca, smeđih pelikana, kornjača i ribe, kao i selica poput crvenoglave patke. Oluja je uzrokovala izlivanje nafte iz 44 postrojenja, što je rezultiralo s 26 milijuna litara istečene nafte. Dio nafte je ušao u ekosustav, a grad Meraux je bio poplavljen mješavinom vode i nafte. Nema službenih izvješća o izljevima u more [17].



Slika 10. Satelitska snimka uragana Katrina [17]

5. OSMATRANJE I PROGNOZA

Intenzivni tropski cikloni predstavljaju poseban izazov za promatranje, budući da su opasni oceanski fenomen, a meteorološke postaje relativno su rijetke, rijetko su dostupne na mjestu oluje. Općenito, površinska opažanja su dostupna samo ako oluja prolazi preko otoka ili obalnog područja, ili ako postoji obližnji brod. Mjerenja u realnom vremenu obično se uzimaju na periferiji ciklona, gdje su uvjeti manje katastrofalni. Njegova istinska snaga se ne može procijeniti. Iz tog razloga, postoje timovi meteorologa koji kreću na put radi praćenja tropskih ciklona kako bi pomogli procijeniti njihovu snagu na mjestu nailaska na kopno [24].

Tropske ciklone daleko od kopna prate vremenski sateliti koji šalju i primaju infracrveno zračenje, obično u intervalima u razmaku od pola sata ili četvrtine sata. Kako se oluja približava kopnu, može se promatrati snimka kopnenog meteorološkog radara. Radar ima ključnu ulogu kod nailaska uragana na kopno, pokazujući lokaciju i intenzitet oluje svakih nekoliko minuta [24].

Precizna predviđanja putanja tropskih ciklona ovise o određivanju položaja i intenziteta visokih i niskih područja tlaka tijekom života ciklusa tropskog sustava.

5.1. Osmatranje tropskih ciklona s broda

Pomorcu je veoma važno poznavanje izgleda neba i stanja mora u blizini tropskog ciklona. Rano upozorenje o približavanju tropskog ciklona, prije pada atmosferskog tlaka, daju dugi valovi mrtvog mora, i to najvjerojatnije iz smjera približavanja ciklona. Vjetrovi iz pojedinih kvadranta stvaraju svoja mrtva mora, ali presudni su oni valovi koji se kreću u pravcu staze ciklona [23].

Na udaljenosti 500-1000 M, atmosferski tlak redovito opada, a nebo je razmjerno vedro. Barometar postaje nemiran, tlak se mijenja za 1,5 hPa minimalno u vremenu od 3 sata (barometarska tendencija).

Kad je ciklon udaljen oko 300 – 600 M, pojavljuju se snježno bijeli cirusi. Ti oblaci konvergiraju prema pravcu iz kojeg se ciklon približava, što se naročito vidi pri izlasku i zalasku sunca.

Nešto poslije pojave takvih oblaka, a ponekad i prije, atmosferski tlak počinje polagano padati. U početku pada postepeno, pa izgleda kao da se samo mijenja. Prilikom

povećavanja intenziteta pada tlaka, normalna shema promjene sasvim se gubi i prelazi gotovo u stalan pad. Cirusni oblaci postaju izmiješani i prelaze u kombiniranu oblačnu barijeru Cirrostratus oblaka. Ispod te barijere javljaju se Altostratus i Stratokumulus oblaci, postaju sve gušći, a time i vrijeme sve nestabilnije. Počinje sipiti kiša, koja jako sličí magli, te biva povremeno prekinuta nastupima jačih pljuskova. Atmosferski tlak padne oko 2 – 3 hPa. Što tlak brže pada, vjetar postaje sve jači; njegova brzina doseže 22 – 40 čv. Na horizontu se pojavljuje zid teških Kumulonimbus – oblaka (slika 11.), tzv. stup ciklona. Dijelovi tih “teških” oblaka povremeno se odvajaju i u komadima se kreću nebom, praćeni povremenim kišama, a vjetar postaje sve jači. Između olujnih pljuskova mogu se kroz šupljine Stratokumulusa vidjeti Cirusi [24].

Približavanjem stupa ciklona atmosferski tlak pada sve brže, a brzina vjetra se povećava. More, koje se stalno razvijalo, postaje olujno. Udarci vjetra i kiše su sve češći i žešći. S odlaskom stupa ciklona dan postaje vrlo tmuran, udari vjetra postaju neprekidni, barometer osjetno pada, a vjetar povećava brzinu.

U toj fazi središte puno razvijenog ciklona može biti 100 – 200 M. Što se središte ciklona više približava, vjetar je sve žešći. Sve se jače čuje kako vjetar zavija kroz snast i brodska nadgrađa. Kiša pada neprekidno (lijeva kao iz kabla). More postaje brdovitog izgleda. Vidljivost je vrlo slaba, tako da se objekti ne vide ni na najmanjoj udaljenosti (često jedva 30 m). I najveći brodovi mogu izgubiti manevarska svojstva i prijeti im opasnost od teških oštećenja i tonenja. Rijetki brodovi slabije strukture mogu izdržati takvo orkansko nevrijeme. U prvom je planu postaje sigurnost broda [23].

Kad brod ulazi u oko ciklona, vjetar najedanput prelazi u povjetarac, kiša naglo prestaje, a nebo se razvedri toliko da se Sunčeve zrake vide kroz relativno tanak sloj oblaka. Vidljivost se poboljšava. Brdovito more približava se sa svih strana u općem neredu. Atmosferski tlak pada do najniže točke, koja u puno razvijenom ciklonu može biti i 40 do 80 milibara ispod normale.

Pri izlasku broda iz oka ciklona vjetar udara iznenada i punom žestinom, ali sada iz suprotna smjera. Slijed vremenskih pojava koje se sada događaju obrnut je od onog pri približavanju tropskog ciklona, a odvija se brže jer pojedine zone ciklona u stražnjem dijelu nisu tako široke kao u njegovu prednjem dijelu [23].



Slika 11. Kumulonimbus oblaci – stup ciklona [24]

5.2. Osmatranje tropskih ciklona iz satelita

Meteorološki satelit je vrsta umjetnog Zemljinog satelita posebno konstruiranog i opremljenog za dobivanje podataka meteoroloških mjerenja u stvarnom vremenu radi prognoze vremena te određivanja sastava Zemljine atmosfere i meteoroloških pojava.

Dva su osnovna tipa meteoroloških satelita. Geostacionarni sateliti tipa GOES, GMS i METEOSAT na visini od približno 36 000 kilometara iznad ekvatora neprestano snimaju stanje Zemljine atmosfere i Zemlje u nekoliko spektralnih područja svakih pola sata. Takvih 6 umjetnih satelita u razmaku od 60 zemljopisnih duljinskih stupnjeva opasuju cijelu Zemlju, a slike koje šalju postale su sastavnim dijelom svakodnevne analize i prognoze vremena te uz praćenje vremenskih promjena omogućuju i otkrivanje područja nastajanja opasnih tropskih ciklona, uragana i tajfuna.

5.3. Prognoziranje tropskih ciklona numeričkim modelima

Par stotina godina unatrag, vremenska prognoza se radila po načelima promatranja neba i pojava u atmosferi, mjerenjima temperature, smjera vjetra, tlaka, vlažnosti i drugih meteoroloških elemenata te praćenja njihovih promjena u vremenu.

Vremenske prognoze su se ponešto poboljšale pojavom električnog telegrafa, koji je omogućio uspostavljanje mreža meteoroloških mjerenja i motrenja, pa su se tako mogle i crtati prve sinoptičke karte, koja su prognostičarima predstavljale značajnu pomoć u predviđanju razvoja vremena u bližoj budućnosti.

Razvoj meteorologije tijekom povijesti u jednome je trenutku doveo do ideje da se stanje atmosfere pokuša prikazati matematičkim putem i zatim sustavom jednadžbi predvidjeti promjene stanja u bližoj budućnosti [28].

Numeričko modeliranje atmosfere danas je temeljni način prikupljanja podataka kojima se prognostičari služe u sastavljanju vremenske prognoze. Modeliranje atmosfere je način za neizravno proučavanje njezinih svojstava, pri čemu se matematičkim putem u računalnom programu opisuje njezino stanje u nekom trenutku, kao i promjena stanja tijekom nekog vremenskog razdoblja. Veoma razvijena računala i sofisticirani simulacijski softveri dopuštaju meteorolozima proizvesti računalne modele koji predviđaju putanje tropskih ciklona na temelju budućeg položaja i snage visokog i niskog tlaka zraka. Kombinirajući meteorološke modele s povećanim razumijevanjem sile koje djeluju na tropske ciklonime, kao i s bogatim podacima iz zemaljskih satelita i drugih senzora, znanstvenici su povećali točnost predviđanja putanja tropskih ciklona tijekom posljednjih desetljeća.

Razvijeni su mnogi numerički modeli kojima bismo mogli predvidjeti razvoj i evoluciju tropskih oluja i uragana. Neki znanstvenici koriste meteorološke modele kao što su WRF (The Weather Research and Forecasting Model) i NCEP (National Center for Environment Prediction) model koji se mogu prilagoditi željenoj primjeni [3].

Drugi znanstvenici razvijaju vlastite modele koristeći i prilagođavajući već utemeljene matematičke modele kako bi mogli promatrati samo određene aspekte uragana. Kako bi u budućnosti mogli preciznije prognozirati nastanak i razvoj uragana, potrebno je razviti bolje matematičke modele (ili prilagoditi već postojeće kao što su WRF i NCEP) u kojima bi se objedinjeni procesi u atmosferi, oceanu i uraganu preciznije predviđali.

Važno je istaknuti da su se pojedini svjetski centri (države), nadležni za upozorenje pomoraca (i ostalog stanovništva) o pojavi tropskih ciklona dogovorili o područjima (bazenima) nadležnost (tablica 2.). Dostupnost i kvaliteta ovih upozorenja od velikog je utjecaja na sigurnost plovidbe.

Tablica 2. Popis službenih centara za upozorenje o pojavi tropskih ciklona u pojedinim oceanskim bazenima [30].

Tropical cyclone basins and official warning centers			
Northern Hemisphere			
North Atlantic Eastern Pacific	United States National Hurricane Center United States Central Pacific Hurricane Center	Equator northward, African Coast – 140°W Equator northward, 140°W-180	
Western Pacific	Japan Meteorological Agency	Equator-60°N, 180-100°E	
North Indian Ocean	India Meteorological Department	Equator northward, 100°E-45°E	
Southern Hemisphere			
South-West Indian Ocean	Météo-France Reunion	Equator-40°S, African Coast-90°E	
Australian region	Indonesian Agency for Meteorology, Climatology and Geophysics (BMKG) Papua New Guinea National Weather Service, Australian Bureau of Meteorology	Equator-10°S, 90°E-141°E Equator-10°S, 141°E-160°E 10°S-36°S, 90°E-160°E	
Southern Pacific	Fiji Meteorological Service Meteorological Service of New Zealand	Equator-25°S, 160°E-120°W 25°S-40°S, 160°E-120°W	

6. ZAKLJUČAK

U ovome radu su opisani tropski cikloni i uragani kao intenzivni poremećaji u atmosferi s izraženim spiralnim strujanjem zraka. Spadaju u najintenzivnije prirodne nepogode na Zemlji. Javljaju se u tropskim područjima, ali se mogu javiti i u višim geografskim širinama. Ne javljaju se u pojasu između 5° južne i 5° sjeverne geografske širine. Najčešće nastaju u zapadnim dijelovima oceana, a češći su na sjevernoj Zemljinoj polutki gdje godišnje u prosjeku nastaje 50 tropskih ciklona. Ne javljaju se tamo gdje teku hladne morske struje. U Atlantiku se javljaju između svibnja i studenog, dok se u Pacifiku oko 89% tropskih ciklona javlja od lipnja do prosinca.

Tropski cikloni i uragani nastaju kao nakupina grmljavinskih oluja daleko od kontinenata, na udaljenosti najmanje 250 M, iznad toplih dijelova oceana, gdje je minimalna temperatura morske vode 26,50 °C. Prepoznatljivi su po mirnom središtu koje se naziva oko.

Od 1950-ih godina, tropski cikloni se dijele prema brzini vjetra. Prema Saffir – Simpsonovoj ljestvici, uragan kategorije 1 je najslabiji, a karakteriziraju ga vjetrovi brzine od minimalno 120 km/h; najjači je onaj kategorije 5, čija brzina vjetra prelazi 250 km/h.

Tropski cikloni uzrokuju sve veće materijalne štete i ljudske žrtve na obali i kopnu, što je posljedica proširivanja gradskih i industrijskih područja. Tako je u uraganu Bholi iz 1970. godine izgubilo život oko 500.000 ljudi, a materijalna šteta od uragana Sandy iz 2012. godine je procijenjena na 71 milijardu dolara. Od svih ljudskih djelatnosti cikloni svojom razornom snagom najviše štete nanose pomorstvu te njegovim granama: brodarstvu, brodogradnji, morskim lukama, nautičkom turizmu i ribarstvu.

Prosječno se godišnje u svijetu pojavi oko 40 tropskih ciklona i još toliko tropskih oluja orkanske jačine (uragana, tajfuna). Znanstvena istraživanja pokazuju da se u budućnosti broj uragana neće znatno promijeniti, ali će oni koji se razviju, biti dugotrajniji i snažniji.

Razvoj meteoroloških i oceanoloških službi omogućuje pravodobno obavješćavanje brodova i zrakoplova o položaju i gibanju pojedinih oluja. Brodovi i zrakoplovi nastoje izbjeći njihovo središte i pojas najjačih vjetrova (opasna polovica), a ako su zahvaćeni dijelom ciklona, postoje pravila i postupci u takvim uvjetima.

7. LITERATURA

- [1] Baker, A.; Parker, M.; & Eastin, M.; *Environmental ingredients for supercells and tornadoes within hurricane Ivan*, *Weather & Forecasting*, 2009, str. 223-244
- [2] Boybeyi, Z.; Novakovskaia, E.; MacCracken, R.; Bacon, D.; & Kaplan, M.; Targeted GOES satellite observations to improve hurricane track forecast: A case study of hurricane Floyd, *Pure & Applied Geophysics*, 2007, str. 2083-2100
- [3] Davis, C.; Wang, W.; Chen, S.; Chen, Y.; Corbosiero, K.; DeMaria, M.; Dudhia, J.; Holland, G.; Klemp, J.; Michalakes, J.; Reeves, H.; Rotunno, R.; Snyder, C.; & Xiao, Q.; Prediction of landfalling hurricanes with the advanced hurricane WRF model, *Monthly Weather Review*, 2008, str. 1990-2005
- [4] Demaria, M.; Knaff, J.; & Connell, B.; A tropical cyclone genesis parameter for the tropical Atlantic, *Weather & Forecasting*, 2001, str. 219
- [5] Emanuel, K.; *Devine Wind*. Oxford University Press Inc, 2005;
- [6] Farfan, L.; & Zehnder, J.; An analysis of the landfall of hurricane Nora (1997), *Monthly Weather Review*, 2001, str. 2073
- [7] Franklin, J.; Black, M.; & Valde, K.; GPS dropwindsonde wind profiles in hurricanes and their operational implications, *Weather & Forecasting* 2003, str 32
- [8] Gelo, B.; *Opća i pomorska meteorologija*, Sveučilište u Zadru, 2010, str. 326-358
- [9] Li, X.; & Wang, B.; Acceleration of the hurricane beta drift by shear strain rate of an environmental flow, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1996; str. 327
- [10] Sarachik i Cane: The El Niño – Southern oscillation phenomenon, Cambridge university press, 2009; str.369
- [11] Wang, Y.; *Structure and formation of an annular hurricane simulated in a fully compressible, nonhydrostatic Model—TCM4*, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2008; str. 1505-1527
- [12] Wu, C.; & Emanuel, K.; *On hurricane outflow structure*, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1994; str. 1995
- [13] (<http://morski.hr/2017/09/08/uragani-definicija-potpune-katastrofe/>) (pristupljeno 1.12.2018.)
- [14] http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Hurricanes/hurricanes_2.php (pristupljeno 4.5.2018.)

- [15] https://www.google.hr/search?q=uragan&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj84Mmzkr_bAhUFJMAKHbUGDwQQ_AUICigB&biw=1366&bih=588#imgrc=i0bHXPewB2i9wM (pristupljeno 2.4.2018.)
- [16] https://www.google.hr/search?q=uragan+dean&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiAzsSakr_bAhVpAsAKHepGA6UQ_AUICigB&biw=1366&bih=588#imgrc=jRhIOyNdsV1KM (pristupljeno 22.3.2018.)
- [17] https://www.google.hr/search?q=uragan+katrina&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjpgqeJIL_bAhXDUhQKHSv-A44Q_AUICigB&biw=1366&bih=588#imgrc=Oe0dJULt3wW4IM: (pristupljeno 22.3.2018.)
- [18] <https://www.iskrica.com/weblogs/post.php?web=12288&log=449700> (pristupljeno 12.4.2018.)
- [19] <https://net.hr/danas/svijet/potres-od-78-po-richteru-pogodio-tihi-ocean-velika-opasnost-od-tsunamija/> (pristupljeno 24.4.2018.)
- [20] <http://lipovscak.com/meteo/valovi.html> (pristupljeno 1.6.2018.)
- [21] <https://hr.sott.net/article/5417> (pristupljeno 12.4.2018.)
- [22] https://bib.irb.hr/datoteka/505603.DiplRad_Kristina_Klemencic.pdf (pristupljeno 12.2.2019)
- [23] <https://www.crometeo.hr/divlje-vrijeme/> (pristupljeno 12.2.2019.)
- [24] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Oblaci#/media/File:Rolling-thunder-cloud.jpg> (pristupljeno 12.2.2019)
- [25] https://en.wikipedia.org/wiki/1970_Bhola_cyclone (pristupljeno 14.2.2019.)
- [26] <https://www.krajina.ba/sad-uragan-florence-dostize-petu-kategoriju-moguca-obavezna-evakuacija-cak-milion-ljudi/> (pristupljeno 12.2.2019.)
- [27] <http://www.monitor.hr/sad-naredena-evakuacija-15-milijuna-ljudi-zbog-uragana-florence/> (pristupljeno 15.2.2019)
- [28] <https://www.crometeo.hr/racunarno-prognoziranje-vremena-1/> (pristupljeno 1.12.2018.)
- [29] https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone#/media/File:Global_tropical_cyclone_tracks-edit2.jpg
- [30] https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone

8. POPIS SLIKA

Slika 1. Unutarnja struktura uragana	8
Slika 2. Tropski sustav usred zime postaje tropska oluja Pali na Pacifiku	10
Slika 3. Slika uragana Florence iz svemira 10. 9. 2018. godine	12
Slika 4. Prognoza putanje uragana Florence na dan 10.9.2018. godine	13
Slika 5. Anatomija tropskog ciklona (Encyclopedia Britanica, Inc., 2005.)	14
Slika 6. Karta kumulativnih tragova svih tropskih ciklona tijekom razdoblja od 1985. do 2005. godine	15
Slika 7. Prizemno polje vjetra u odnosu na smjer gibanja ciklona	16
Slika 8. Uragan Bloha.....	19
Slika 9. Uragan Dean	20
Slika 10. Uragan Katrina	22
Slika 11. Kumulonimbus oblaci – stup ciklona	25

9. POPIS TABLICA

Tablica 1. Kategorizacija uragana po Saffir-Simpsonu.....	17
Tablica 2. Popis službenih centara za upozorenje o pojavi tropskih ciklona u pojedinim oceanskim bazenima	27

10. POPIS KRATICA

ENSO (*El Niño–Southern Oscillation*)

ITCZ (engl. *Intertropical Convergence Zone*) intertropska zona konvergencije

WRF (engl. *The Weather Research and Forecasting Model*)

NCEP (engl. *National Center for Environment Prediction Model*)